

法政大学学術機関リポジトリ  
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

## 誘電体基板に長方形孔配列を設けた偏波回転子

著者	島村 大輝
出版者	法政大学大学院理工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要．理工学・工学研究科編
巻	59
ページ	1-2
発行年	2018-03-31
URL	<a href="http://doi.org/10.15002/00021563">http://doi.org/10.15002/00021563</a>

## 誘電体基板に長方形孔配列を設けた偏波回転子

## POLARIZATION ROTATOR CONSISTING OF A DIELECTRIC PLATE USING A RECTANGULAR HOLE ARRAY

島村 大輝

Daiki SHIMAMURA

指導教員 山内潤治

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

A polarization rotator consisting of a dielectric plate with a rectangular hole array is analyzed by the imaginary-distance beam-propagation method based on Yee's mesh and the finite-difference time-domain method. The side lengths of the rectangular hole are determined using the eigenmode analysis. The rotation of a polarization plane by  $90^\circ$  is achieved over a wide wavelength range of  $1.2\ \mu\text{m}$  to  $1.8\ \mu\text{m}$ , and a high transmittance of more than 90% is obtained over the same wavelength range.

**Key Words** : polarization rotator, Yee's mesh, finite-difference time-domain (FDTD) method, periodic structure.

## 1. はじめに

近年, 平面周期構造を用いて偏波の操作を行うデバイスに関心が高まっている. 筆者らは, 誘電体基板に三角形孔配列を設けた偏波回転子を提案している [1]. この種の回転子は, ナノ構造の低屈折率部に光が局在する特性を利用している [2]. 伝搬定数が異なる二つの直交モードをほぼ等振幅で励振し, 両モードの位相差が  $180$  度生じたときに  $90$  度の偏波回転が達成される. 三角形孔配列では,  $\lambda = 1.2 - 1.8\ \mu\text{m}$  の広帯域において  $90\%$  以上の高い透過率を維持しつつ偏波回転特性が得られた. しかしながら, 厚さに  $2.3\ \mu\text{m}$  を要してしまうため, デバイスを小型化する必要性があった.

本稿の目的は, 誘電体基板に長方形孔配列を設けた偏波回転子の特性を明らかにすることである. 解析には周期境界条件を適用した Yee 格子に基づく虚軸ビーム伝搬法 (YM-BPM) [3], [4] と有限差分時間領域 (FDTD) 法を用いる.

はじめに, YM-BPM により固有モード解析を行い, 最も効率よく偏波回転を達成する長方形孔の大きさを決定する.  $x$  方向及び  $y$  方向の長方形孔の大きさを最適に選ぶことで, 短いデバイス長で偏波回転を達成し, 厚みを三角形孔配列の場合の半分以下にできることを示す. さらに, 固有モード界分布から 2 つのモードの実効屈折率差が大きくなる様子を示し, デバイスを小型化できる理由を明示する.

次に, FDTD 法を用いて波長特性を解析し,  $90\%$  以上の透過率を維持しつつ, 広帯域 ( $\lambda = 1.2 - 1.8\ \mu\text{m}$ ) にわたり偏波回転特性が得られることを明らかにする.

## 2. 本論

長方形孔配列を設けた偏波回転子を図 1 に示す. 高屈折率部を  $n_H = 3.476$  (Si), 低屈折率部を  $n_{\text{air}} = 1.0$  に選ぶ. 構造の周期長を  $\Lambda (= \Lambda_x = \Lambda_y) = 0.3\ \mu\text{m}$ , 長方形孔の 1 辺の長さをそれぞれ  $w_x = v_x \Lambda$ ,  $w_y = v_y \Lambda$  で定義する. ここで  $v_x, v_y$  はそれぞれ  $x$  方向及び  $y$  方向の空閑率を表し, 可変とする. 設計中心波長を  $\lambda_c = 1.55\ \mu\text{m}$  に設定する. また, 構

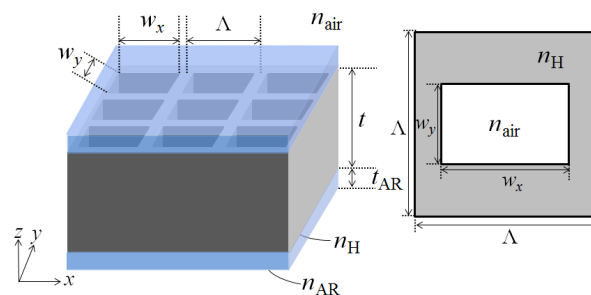


図 1 構造図

造の厚さを  $t$  とおく. はじめに, 周期境界条件を適用した虚軸 YM-BPM を用いて固有モード解析を行い, 空閑率に対する偏波回転長を議論する.

## (1) 固有モード解析

空閑率を可変とした場合の偏波回転長を図 2 に示す. 1 枚の基板で周期構造を保持するために,  $v_x, v_y$  を 1 未満とし, 長方形孔を構成する. 図より,  $v_x$  を 0.9,  $v_y$  を 0.5 に選ぶことで, 偏波回転長は最も短くなり, 約  $1.0\ \mu\text{m}$  と算出される. 同一の誘電体基板に三角形孔配列を設けた場合, 偏波回転長は約  $2.3\ \mu\text{m}$  であるので, 厚みは半分以下に短縮されている. 正方形周期 ( $\Lambda_x = \Lambda_y$ ) の例であるので,  $v_x$  と  $v_y$  を入れ替えた場合では長方形孔の向きが変わるのみであり, 特性の変化は生じない.

今後の検討では, 空閑率を  $v_x = 0.9, v_y = 0.5$  に固定する. そのときの  $E^x$  モード界分布を図 3(a) に,  $E^y$  モード界分布を図 3(b) に示す.  $E^x$  モードでは, 高屈折率部に主たる界があり, 実効屈折率は高くなる. 対照的に,  $E^y$  モードでは, 界は主に空孔部に存在しており, 実効屈折率は低くなる.

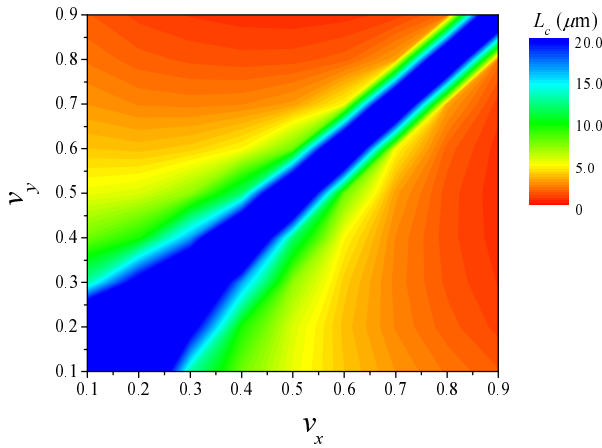


図 2 空隙率に対する偏波回転長

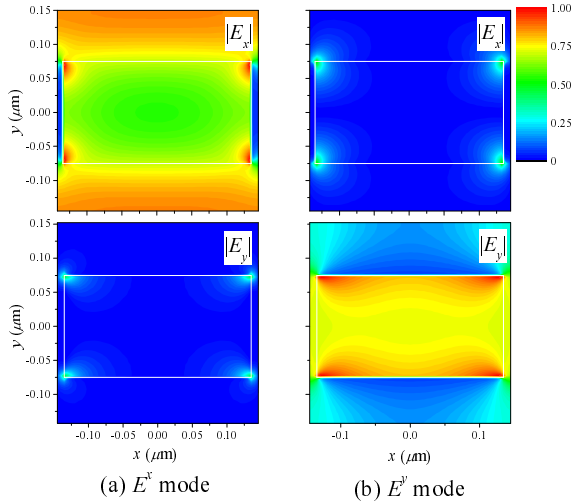


図 3 固有モード界分布 ( $v_x = 0.9$ ,  $v_y = 0.5$ )

以上により、2つの直交するモード間の実効屈折率差は大きくなり、短いデバイス長で偏波回転を達成することが可能になる。

## (2) 伝搬解析

周期境界条件を適用した FDTD 法を用いて伝搬解析を行う。前節での結果を踏まえ、構造の厚さを  $t = 1.0 \mu\text{m}$  に設定する。また、構造の入出力端で反射が生じることが予想されるため、無反射コーティング (ARC) を付加する。ARC の屈折率を  $n_{\text{AR}} = 1.5$  (SiO<sub>2</sub>)、膜厚を  $t_{\text{AR}} = 0.25 \mu\text{m}$  に選ぶ。構造の下部より一様な振幅をもつ直線偏波を垂直入射し、構造上部の空気層で透過波を観測する。 $E^x$ 、 $E^y$  両モードを等振幅で励振する必要があるため、入射波は長方形孔の長短辺から 45 度傾ける。

透過波の波長特性を、透過率、偏波回転角  $\Delta\phi$ 、楕円率  $\tan\chi$  で評価する。図 4 より、 $\lambda = 1.2 - 1.8 \mu\text{m}$  の広帯域で偏波の軸は 90 度回転する。さらに、 $|\tan\chi|$  が 0.3 以下となる透過波を直線偏波とみなすと、この帯域において偏波回転特性が得られることがわかる。しかし、ARC を付加しない場合、偏波回転特性は得られるものの、透過率の波長特性に

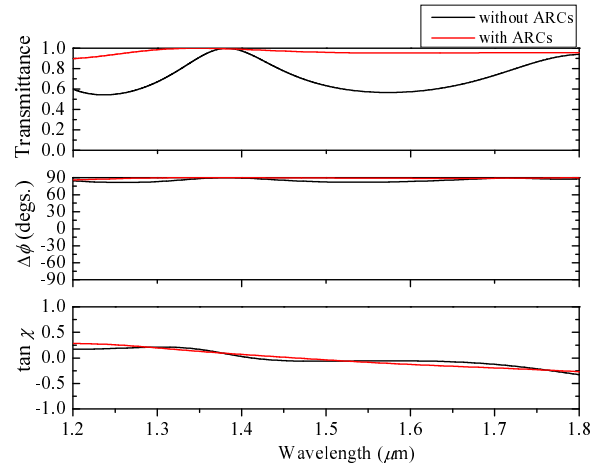


図 4 波長特性

リップルが生じていることがわかる。これは構造の入出力端での反射が原因である。そこで、この反射を低減するため、構造の入出力端に ARC を付加する。結果として、リップルが抑制され、広帯域に 90% 以上の高い透過率を維持できることがわかる。

## 3. まとめ

誘電体基板に長方形孔配列を設けた偏波回転子の検討を行った。始めに、固有モード解析を行い、最も効率よく偏波回転を達成する長方形孔の大きさを決定した。長方形孔の長辺の空隙率  $v_x$  を 0.9、短辺の空隙率  $v_y$  を 0.5 に選ぶことで、構造の厚さ  $t = 1.0 \mu\text{m}$  で偏波回転を達成することを明らかにした。

次に、FDTD 法を用いて伝搬解析を行い、 $\lambda = 1.2 - 1.8 \mu\text{m}$  の広帯域において 90 度の偏波回転を達成することを明示した。さらに構造の入出力端に ARC を付加することで、透過率が改善されることを示した。文献 [5], [6] では、トレランスの改善を目的とし、入射偏波面に依存しない長方形孔配列を設けた偏波回転子の検討もおこなっている。

## 参考文献

- 1) 山内 潤治, 島村 大輝, 本田 慧, 中野 久松, “無反射コーティングにも周期的に三角形孔を設けた 1/2 波長板,” 信学総大, C-3-40, 2016.
- 2) V. R. Almeida, Q. Xu, C. A. Barrios, and M. Lipson, “Guiding and confining light in void nanostructure,” *Opt. Lett.*, vol. 29, no. 11, pp. 1209-1211, Jun. 2004.
- 3) 朝生 龍也, 島村 大輝, 山内 潤治, 中野 久松, “強調された増幅係数を用いた周期構造解析用虚軸 YM-BPM,” 信学ソ大, C-3-17, 2016.
- 4) T. Aso, D. Shimamura, J. Yamauchi, and H. Nakano, *ICCEM*, pp. 289-290, Kumamoto, Mar. 2017.
- 5) J. Yamauchi, D. Shimamura, and H. Nakano, *PIERS*, p. 470, Singapore, Nov. 2017.
- 6) 島村 大輝, 山内 潤治, 中野 久松, “誘電体基板に長方形孔配列を設けた偏波回転子,” 信学技報, OPE2017-123, pp. 35-40, 2018.